

117个玉米品种对禾谷镰孢根腐病的抗性鉴定 及根腐病对苗势与产量的影响

金 嵘^{1,2} 贾 娇¹ 吴宏斌¹ 柴海燕^{1,2} 苏义臣¹ 苏前富^{1*}

(1. 吉林省农业科学院植物保护研究所, 农业农村部东北作物有害生物综合治理重点实验室, 长春 130033;

2. 吉林农业大学植物保护学院, 长春 130022)

摘要: 为评价东北地区玉米主推品种对禾谷镰孢根腐病的抗性水平, 探究根腐病发生与苗势、产量损失间的关系, 采用人工接种方法鉴定东北地区 117 个玉米主推品种对禾谷镰孢根腐病的抗性水平, 应用室内盆栽试验分析自交系 LN810 在施用氮、磷、钾及复合肥后对禾谷镰孢根腐病发生和苗势的影响, 在田间对先玉 335 接种禾谷镰孢菌 *Fusarium graminearum* 后探究根腐病发生程度对其苗势及产量的影响。结果显示, 117 个玉米品种对禾谷镰孢根腐病的抗性差异明显, 鉴定出高抗品种 14 个, 抗病品种 44 个, 中抗品种 47 个, 感病品种 12 个, 其中表现中抗以上的品种占 89.74%, 且中早熟材料均表现为抗性。与未施肥相比, 施用磷钾肥后玉米禾谷镰孢根腐病发生率最低, 为 22.03%。按照禾谷镰孢根腐病发生程度从轻到重将先玉 335 群体划分为一、二、三类苗, 级别越高苗势越弱, 产量测定发现二、三类苗的平均产量较一类苗的平均产量分别下降了 39.97% 和 76.39%。表明东北地区主推玉米品种大部分对禾谷镰孢根腐病表现出抗性, 但仍有部分品种存在较大感病风险, 且该病害的发生程度与幼苗长势和产量呈负相关, 施用磷钾肥可降低该病害的发生率。

关键词: 玉米品种; 禾谷镰孢根腐病; 抗性评价; 苗势; 产量

Identification for resistance of 117 maize varieties against root rot caused by phytopathogenic fungus *Fusarium graminearum* and the effects of root rot on seedling vigor and yield

Jin Rong^{1,2} Jia Jiao¹ Wu Hongbin¹ Chai Haiyan^{1,2} Su Yichen¹ Su Qianfu^{1*}

(1. Key Laboratory of Integrated Crop Pest Management in Northeast China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Plant Protection, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, Jilin Province, China;

2. College of Plant Protection, Jilin Agricultural University, Changchun 130022, Jilin Province, China)

Abstract: In order to evaluate the resistance against root rot caused by phytopathogenic fungus *Fusarium graminearum* of main maize cultivars in northeastern China, and explore the relationship between the incidence of root rot and seedling vigor and yield loss, the resistance of 117 maize cultivars in northeastern China against root rot caused by *F. graminearum* was identified using artificial inoculation method. The effects of nitrogen, phosphorus, potassium and composite fertilizers on the incidence of root rot and seedling vigor of inbred line LN810 were analyzed with indoor pot experiments, and maize variety Xianyu 335 was used to analyze the effects of root rot on seedling vigor and yield of maize in fields. The results showed that the resistance levels of 117 maize cultivars against root rot caused by *F. graminearum* were significantly different. There were 14 highly resistant varieties, 44 resistant varieties, 47

基金项目: 吉林省重点研发计划(20210202121NC), 国家现代农业产业技术体系(CARS-02)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: qianfusu@126.com

收稿日期: 2023-03-13

medium-resistant varieties and 12 susceptible varieties, of which 89.74% were resistant or highly resistant, and all of the medium-early maturity materials showed resistance. Compared with no fertilizer controls, the lowest incidence of root rot caused by *F. graminearum* was 22.03% when applying phosphorus and potassium fertilizers. According to the degree of root rot caused by *F. graminearum*, the population of Xianyu 335 seedlings was divided into three types: types 1, 2, and 3. The higher the level, the weaker the seedlings. The average yields of the types 2 and 3 of seedlings were decreased by 39.97% and 76.39%, respectively, compared with that of the type 1 seedlings. The results indicated that most of maize varieties cultivated in northeastern China were resistant to root rot, but there were still some varieties with high risk. The incidence of root rot was negatively correlated with seedling vigor and yield, and it could be reduced by applying phosphorus and potassium fertilizers.

Key words: maize varieties; *Fusarium graminearum* root rot; resistance evaluation; seedling vigor; yield

玉米是我国播种面积最大、产量最高的粮食作物(段灿星等, 2015a; 刘绍熹和刘帅, 2022),在全国粮食生产中占有重要地位。吉林省玉米播种面积占全省粮食播种面积的71%, 占全国玉米播种面积的9.7%, 是我国重要的玉米产区(常雪等, 2018)。病虫草害是限制玉米产量和品质的关键因子(朱书生等, 2022), 而苗期病害可导致玉米每年减产10%以上, 是制约玉米产量提高的重要因素(宋淑云等, 1997)。玉米根腐病是玉米苗期常见病害, 导致植株矮小、叶片发黄, 影响植株正常生长发育, 严重时造成大面积死苗。Scholte(1987)认为根腐病发生严重的玉米植株即使在生长后期恢复, 也会导致植株又小又弱; 刘树森等(2022)研究结果也表明玉米根腐病发生程度与株高、茎粗、穗位和产量呈负相关。相比传统双粒或多粒播种方式, 玉米单粒播种栽培技术表现出省时、节约等诸多优势, 但由于根腐病等病虫害造成的缺苗、弱苗更加明显, 使得单粒播种无法保全苗。综上, 根腐病的发生严重影响了玉米产量和幼苗品质。推广和种植抗病品种是减轻病害发生、提高玉米产量和品质最经济有效的措施(段灿星等, 2012; 徐婧等, 2023)。

引起玉米根腐病的病原菌主要包括镰孢菌 *Fusarium* spp.、腐霉菌 *Pythium* spp.、丝核菌 *Rhizoctonia* spp. 和蠕孢菌 *Helminthosporium* spp.(晋齐鸣等, 2004; 王丽娟等, 2011)。其中禾谷镰孢菌 *Fusarium graminearum* 是造成东北地区玉米茎腐病、穗腐病和根腐病的优势病原菌(刘振库等, 2014; 段灿星等, 2015b; 贾娇等, 2019)。禾谷镰孢菌可侵染玉米(Zhang et al., 2016; 肖淑芹等, 2017)、小麦(申成美, 2012)和大豆(何宛芹等, 2017)等多种农作物, 造成的损失不可忽视。由于目前未见关于筛选抗禾谷镰

孢根腐病玉米材料的报道, 因此, 开展玉米对禾谷镰孢根腐病的抗性鉴定是筛选抗性种质资源和品种合理布局的基础。

近年来, 由于品种更替、种植制度更新(常浩等, 2022)、全球气候变暖和大量施用氮肥(武际等, 2006)等原因, 根腐病在东北地区发生广泛, 并有逐年加重的趋势(王振营和王晓鸣, 2019; 郭宁等, 2022)。大量研究显示合理施肥在植物抗病中具有重要作用, 例如钾肥能促进根部营养的吸收, 增加植物多酚的浓度, 在植物防御反应中发挥着重要作用(Amtmann et al., 2008; Tripathi et al. 2022)。田蕴德(1994)研究发现, 磷肥单施或与氮、钾肥复配施用都会减轻豌豆根腐病的发生; Xia et al.(2016)研究发现, 氮肥用量过多或钾肥用量不足时均会加重三七根腐病的发生; 李絮花和杨守祥(2002)报道显示在苗期施用磷、钾肥能够促进玉米生长。然而施肥对玉米根腐病发生的影响的相关报道较少, 因此研究苗期施用不同肥料与玉米根腐病发生率之间的关系对于合理施肥具有重要的指导意义。

本研究采用人工接种法评价东北地区玉米主推品种对禾谷镰孢根腐病的抗性, 分析玉米品种熟期与抗性之间的关系, 明确施用氮、磷、钾肥及复合肥对玉米苗期禾谷镰孢根腐病发生的影响, 通过测定接种禾谷镰孢菌产生的不同苗势玉米群体的产量, 明确禾谷镰孢根腐病对玉米苗势和产量的影响, 以为玉米抗病育种和禾谷镰孢根腐病防治提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试菌株和玉米: 禾谷镰孢菌 ZF0515 菌株由吉

林省农业科学院植物保护研究所分离、鉴定并保存。117个玉米栽培品种、先玉335和自交系LN810均由吉林省农业科学院玉米研究所提供。

供试肥料:氮肥为尿素(N含量≥46%),磷肥为过磷酸钙(P_2O_5 含量≥46%),钾肥为氯化钾(K_2O 含量≥50%),均购于吉林地富肥业科技有限公司。

供试培养基:马铃薯葡萄糖琼脂(potato dextrose agar,PDA)培养基成分为马铃薯200 g、琼脂粉20 g、葡萄糖20 g,蒸馏水定容至1 L;合成低营养琼脂(synthetic low nutrient agar,SNA)液体培养基成分为 KH_2PO_4 2 g、 KNO_3 2 g、 KCl 1 g、 $MgSO_4$ 1 g、 $FeSO_4$ 0.002 g、 $FeCl_3$ 0.002 g、 $MnSO_4$ 0.002 g、 $ZnSO_4$ 0.002 g、葡萄糖1 g,蒸馏水定容至1 L;高粱粒培养基是将煮熟的高粱粒自然干燥获得;以上培养基均于121 ℃高压灭菌20 min。

试剂和仪器:本试验所用试剂均为国产分析纯。BPH-9162恒温培养箱,上海一恒科学仪器有限公司;XB.K.25型血球计数板,上海市求精生化试剂仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 玉米品种对禾谷镰孢根腐病的田间抗性鉴定

挑取纯化的禾谷镰孢菌菌丝接种于PDA平板上,于25 ℃黑暗培养7 d,在菌落边缘打取直径为5 mm的菌饼,取5个菌饼接种于SNA液体培养基中,于25 ℃、120 r/min条件下培养7 d,经2层纱布过滤获得禾谷镰孢菌分生孢子悬浮液,并通过血球计数板将其浓度调整至 10^6 个/mL。取10 mL禾谷镰孢菌分生孢子悬浮液接种于1.6 kg灭菌高粱粒培养基中,25 ℃培养7~14 d,待菌丝覆盖高粱粒表面后置于阴凉通风处备用。

田间鉴定圃位于吉林省农业科学院植物保护研究所试验田。试验小区长42 m、宽40 m,每个品种种植1行,行长10 m,株距22 cm,垄距60 cm。小区两侧各种植4垄保护行,前后各种植10 m行长保护行。2023年5月2日播种,播种时每粒种子接种约20粒带有禾谷镰孢菌的高粱粒培养物,试验小区进行常规田间管理。2023年6月1日,玉米生长至3~4叶1心期,调查鉴定每个玉米品种的发病株数和总株数,计算发病率,发病率=发病株数/总株数×100%,以玉米主胚根2/3及以上部分腐烂、变色者视为感染禾谷镰孢根腐病。依据其发病程度进行抗性评价。抗病等级划分标准:1级,0<发病率≤10%,表现为高抗;3级,10%<发病率≤20%,表现为抗病;5级,20%<发病率≤40%,表现为中抗;7级,40%<发

病率≤60%,表现为感病;9级,60%<发病率≤100%,表现为高感。

1.2.2 肥料对根腐病和玉米生长性状的影响测定

采用盆栽试验测定不同肥料对玉米禾谷镰孢根腐病发生的影响,供试品种为高感禾谷镰孢根腐病的玉米自交系LN810。将在吉林省农业科学院公主岭试验田采集的细砂土于121 ℃高压灭菌20 min,取1.2.1中制备的禾谷镰孢菌分生孢子悬浮液,均匀喷施在高温灭菌过的土壤中,制备带有 10^3 个/g禾谷镰孢菌分生孢子的土壤。选取盆底直径9 cm、盆口直径13 cm、高度12.5 cm的小花盆,每个花盆中放入750 g带菌土。试验共设8个处理,分别为在含有 10^3 个/g禾谷镰孢菌分生孢子的土壤中施加氮肥、磷肥、钾肥、氮磷肥、氮钾肥、磷钾肥、氮磷钾肥和不施肥对照,其中氮、磷、钾肥施用量分别为尿素261 kg/hm²、过磷酸钙205 kg/hm²、氯化钾150 kg/hm²。每个处理3次重复,每个重复3盆,每盆播种25粒种子,播种后置于白天25 ℃/夜晚20 ℃、12 h光照/12 h黑暗的培养箱中,每隔5 d每盆定量浇水100 mL,待玉米生长至3~4叶1心期开始调查出苗数和根腐病发生情况,病级划分同1.2.1,并计算出苗率;同时测量株高,并拔出整株清洗干净泥土,用吸水纸吸干水分后称量地上部鲜重。

1.2.3 玉米根腐病发生对其苗势和产量的影响测定

在1.2.1所述试验地,另外选择试验小区于2023年5月2日播种玉米品种先玉335,行长10 m,株距22 cm,垄距60 cm,共播种60行。播种时将每粒玉米种子与约20粒带有禾谷镰孢菌的高粱粒培养物同时埋入土中,试验小区进行常规田间管理。2023年6月中旬生长至5~6叶1心期,在田间用不同颜色标签标记一、二和三类苗,每类苗标记150株。玉米苗分类参照刘树森等(2022)苗势分类标准改进后进行划分:一类苗,出苗期正常,健壮,整齐一致,苗色浓绿,叶片肥厚,主胚根根系正常或有少量坏死斑点;二类苗,出苗期基本正常,苗发育正常,较整齐,苗色正常,主胚根根系坏死部分或坏死斑点不超过2/3;三类苗,出苗期偏晚,不整齐,苗色浅绿,叶片薄,主胚根根系坏死部分大于2/3。在玉米成熟期分类收获,50株为1个处理,每个处理3次重复。记录每个处理的空秆株数,计算空秆率。待果穗自然风干后,记录每个处理实收玉米果穗的质量、穗数及10穗标准穗的实际质量、子粒重、百粒重和含水量,计算玉米果穗的鲜出籽率和平均单穗重,按每公顷6万株苗、14%含水量折算每公顷产量,并计算二类苗和三

类苗较一类苗的产量损失率。空秆率=空秆株数/总株数×100%;产量损失率=(一类苗每公顷产量-二类或三类苗每公顷产量)/一类苗每公顷产量×100%。

1.3 数据分析

采用Excel 2011处理原始数据,利用DPS 17.10统计软件进行单因素方差分析,应用最小显著差数(least significant difference, LSD)法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 117个玉米主推品种对禾谷镰孢根腐病的抗性

在3~4叶1心期调查117个玉米主推品种感染禾谷镰孢根腐病的情况,计算发病率,评价其抗性水平,发现对禾谷镰孢根腐病表现为高抗的品种有14个,占总参试品种的11.97%,其中包括中早熟品种1个,中熟品种7个,中晚熟品种6个,分别占总参

试品种的0.85%、5.98%和5.13%;表现为抗病的品种有44个,占总参试品种的37.61%,其中包括中早熟品种1个,中熟品种15个,中晚熟品种24个,晚熟品种4个,分别占总参试品种的0.85%、12.82%、20.51%和3.42%;表现为中抗的品种有47个,占总参试品种的40.17%,其中包括中熟品种23个,中晚熟品种20个,晚熟品种4个,分别占总参试品种的19.66%、17.09%和3.42%;表现为感病的品种有12个,占总参试品种的10.26%,其中包括中熟品种5个,中晚熟品种5个,晚熟品种2个,分别占总参试品种的4.27%、4.27%和1.71%(表1、图1)。对禾谷镰孢根腐病表现抗性以上的品种占总参试品种的89.74%,感病材料占比为10.26%,表明吉林省推广的品种大部分抗禾谷镰孢根腐病,且中早熟材料均表现为抗病。

表1 117个玉米主推品种对禾谷镰孢根腐病的抗性评价

Table 1 Resistance of 117 main maize varieties to *Fusarium graminearum* root rot

玉米品种 Maize variety	发病率 Incidence/%	抗性 Resistance	熟期 Maturation period	玉米品种 Maize variety	发病率 Incidence/%	抗性 Resistance	熟期 Maturation period
吉单31 Jidan 31	6.94	高抗 HR	中熟 Medium-maturity	ZO718	35.38	中抗 MR	中晚熟 Middle-late-maturity
梨玉818 Liyu 818	9.84	高抗 HR	中熟 Medium-maturity	隆禧119 Longxi 119	32.84	中抗 MR	中晚熟 Middle-late-maturity
迪卡186 Dika 186	8.33	高抗 HR	中熟 Medium-maturity	吉农糯111 Jinongnuo 111	32.08	中抗 MR	中晚熟 Middle-late-maturity
G1839	6.14	高抗 HR	中熟 Medium-maturity	农华101 Nonghua 101	13.54	抗病 R	晚熟 Late-maturity
润民759 Runmin 759	9.43	高抗 HR	中熟 Medium-maturity	吉单599 Jidan 599	14.63	抗病 R	晚熟 Late-maturity
吉单681 Jidan 681	5.19	高抗 HR	中熟 Medium-maturity	中单111 Zhongdan 111	12.96	抗病 R	晚熟 Late-maturity
吉单68 Jidan 68	4.05	高抗 HR	中熟 Medium-maturity	禾育57 Heyu 57	19.70	抗病 R	中熟 Medium-maturity
凤田504 Fengtian 504	7.63	高抗 HR	中晚熟 Middle-late-maturity	桦单1223 Huadian 1223	12.77	抗病 R	中熟 Medium-maturity
富民558 Fumin 558	5.06	高抗 HR	中晚熟 Middle-late-maturity	吉单582 Jidan 582	15.94	抗病 R	中熟 Medium-maturity
锦华202 Jinhua 202	6.25	高抗 HR	中晚熟 Middle-late-maturity	吉单63 Jidan 63	17.65	抗病 R	中熟 Medium-maturity
梨玉816 Liyu 816	7.45	高抗 HR	中晚熟 Middle-late-maturity	吉单953 Jidan 953	17.54	抗病 R	中熟 Medium-maturity
先玉1483 Xianyu 1483	5.41	高抗 HR	中晚熟 Middle-late-maturity	吉农玉1801 Jinongyu 1801	16.67	抗病 R	中熟 Medium-maturity
通辽54 Tongliao 54	8.57	高抗 HR	中早熟 Middle-early-maturity	Jinongyu 2300	16.00	抗病 R	中熟 Medium-maturity
兰玉598 Lanyu 598	21.05	中抗 MR	晚熟 Late-maturity	润民881 Runmin 881	14.14	抗病 R	中熟 Medium-maturity
良玉99 Liangyu 99	20.00	抗病 R	晚熟 Late-maturity	泽奥712 Ze'ao 712	18.18	抗病 R	中熟 Medium-maturity
吉单593 Jidan 593	28.57	中抗 MR	晚熟 Late-maturity	德美禾8 Demeihe 8	15.94	抗病 R	中熟 Medium-maturity

续表1 Continued

玉米品种 Maize variety	发病率 Incidence/%	抗性 Resistance	熟期 Maturation period	玉米品种 Maize variety	发病率 Incidence/%	抗性 Resistance	熟期 Maturation period
良玉 606	23.61	中抗	晚熟	农华 238	18.18	抗病	中熟
Liangyu 606		MR	Late-maturity	Nonghua 238		R	Medium-maturity
良玉 DF41	23.28	中抗	晚熟	润民 618	10.77	抗病	中熟
Liangyu DF41		MR	Late-maturity	Runmin 618		R	Medium-maturity
D309	23.16	中抗	中熟	吉农玉 1881	11.48	抗病	中熟
		MR	Medium-maturity	Jinongyu 1881		R	Medium-maturity
D507	32.93	中抗	中熟	C2808	18.45	抗病	中熟
		MR	Medium-maturity			R	Medium-maturity
必祥 809	21.28	中抗	中熟	KC58	13.98	抗病	中熟
Bixiang 809		MR	Medium-maturity			R	Medium-maturity
凤田 109	24.26	中抗	中熟	盛美 999	14.85	抗病	中晚熟
Fengtian 109		MR	Medium-maturity	Shengmei 999		R	Middle-late-maturity
凤田 503	23.44	中抗	中熟	D805	19.48	抗病	中晚熟
Fengtian 503		MR	Medium-maturity			R	Middle-late-maturity
富民 108	26.56	中抗	中熟	S1651	17.36	抗病	中晚熟
Fumin 108		MR	Medium-maturity			R	Middle-late-maturity
富民 88	33.33	中抗	中熟	凤田 405	19.44	抗病	中晚熟
Fumin 88		MR	Medium-maturity	Fengtian 405		R	Middle-late-maturity
富民 985	21.85	中抗	中熟	富民 58	13.11	抗病	中晚熟
Fumin 985		MR	Medium-maturity	Fumin 58		R	Middle-late-maturity
禾育 165	33.33	中抗	中熟	富民 98A	11.38	抗病	中晚熟
Heyu 165		MR	Medium-maturity	Fumin 98A		R	Middle-late-maturity
吉单 436	29.41	中抗	中熟	富民 98B	11.25	抗病	中晚熟
Jidan 436		MR	Medium-maturity	Fumin 98B		R	Middle-late-maturity
吉单 66	25.53	中抗	中熟	宏兴 7088	19.64	抗病	中晚熟
Jidan 66		MR	Medium-maturity	Hongxing 7088		R	Middle-late-maturity
吉禹 619	23.08	中抗	中熟	宏兴 799	15.29	抗病	中晚熟
Jiyu 619		MR	Medium-maturity	Hongxing 799		R	Middle-late-maturity
稷稼 108	32.69	中抗	中熟	桦单 706	10.53	抗病	中晚熟
Jinong 108		MR	Medium-maturity	Huadan 706		R	Middle-late-maturity
辽科 38	28.57	中抗	中熟	桦单 88	14.86	抗病	中晚熟
Liaoke 38		MR	Medium-maturity	Huadan 88		R	Middle-late-maturity
辽玉 1 号	21.43	中抗	中熟	吉农玉 719	19.23	抗病	中晚熟
Liaoyu 1		MR	Medium-maturity	Jinongyu 719		R	Middle-late-maturity
胜美 899	24.24	中抗	中熟	金园 15	15.96	抗病	中晚熟
Shengmei 899		MR	Medium-maturity	Jinyuan 15		R	Middle-late-maturity
兴辉 908	24.11	中抗	中熟	兰乔 1609	10.64	抗病	中晚熟
Xinghui 908		MR	Medium-maturity	Lanqiao 1609		R	Middle-late-maturity
泽尔沣 515	22.00	中抗	中熟	农华 803	18.18	抗病	中晚熟
Ze' erfeng 515		MR	Medium-maturity	Nonghua 803		R	Middle-late-maturity
梨玉 858	21.28	中抗	中熟	伊单 31	15.15	抗病	中晚熟
Liyu 858		MR	Medium-maturity	Yidan 31		R	Middle-late-maturity
兴辉 801	35.82	中抗	中熟	郑单 958	15.22	抗病	中晚熟
Xinghui 801		MR	Medium-maturity	Zhengdan 958		R	Middle-late-maturity
兰玉 16019	35.92	中抗	中熟	先玉 1728	13.83	抗病	中晚熟
Lanyu 16019		MR	Medium-maturity	Xianyu 1728		R	Middle-late-maturity
兰乔 598	22.34	中抗	中熟	远科 706	17.83	抗病	中晚熟
Lanqiao 598		MR	Medium-maturity	Yuanke 706		R	Middle-late-maturity
C3288	31.75	中抗	中晚熟	瑞普 909	17.65	抗病	中晚熟
		MR	Middle-late-maturity	Ruipu 909		R	Middle-late-maturity
D908	24.59	中抗	中晚熟	兰玉 528	10.00	高抗	中晚熟
		MR	Middle-late-maturity	Lanyu 528		HR	Middle-late-maturity

续表1 Continued

玉米品种 Maize variety	发病率 Incidence/%	抗性 Resistance	熟期 Maturation period	玉米品种 Maize variety	发病率 Incidence/%	抗性 Resistance	熟期 Maturation period
S2869	36.36	中抗 MR	中晚熟 Middle-late-maturity	D907	12.73	抗病 R	中晚熟 Middle-late-maturity
迪卡159	24.62	中抗 MR	中晚熟 Middle-late-maturity	吉单82	18.03	抗病 R	中晚熟 Middle-late-maturity
Dika 159				Jidan 82			
凤田110	35.62	中抗 MR	中晚熟 Middle-late-maturity	辽科1号	13.51	抗病 R	中早熟 Middle-early-maturity
Fengtian 110				Liaoke 1			
凤田180	39.39	中抗 MR	中晚熟 Middle-late-maturity	福盛源1号	45.90	感病 S	晚熟 Late-maturity
Fengtian 180				Fushengyuan 1			
富民105	32.14	中抗 MR	中晚熟 Middle-late-maturity	大奥178	44.83	感病 S	晚熟 Late-maturity
Fumin 105				Da'ao 178			
禾育157	22.33	中抗 MR	中晚熟 Middle-late-maturity	必祥199	43.40	感病 S	中熟 Medium-maturity
Heyu 157				Bixiang 199			
禾育47	38.57	中抗 MR	中晚熟 Middle-late-maturity	凤田310	41.94	感病 S	中熟 Medium-maturity
Heyu 47				Fengtian 310			
吉农大598	20.00	抗病 R	中晚熟 Middle-late-maturity	润民7	40.54	感病 S	中熟 Medium-maturity
Jinongda 598				Runmin 7			
吉农玉2988	30.19	中抗 MR	中晚熟 Middle-late-maturity	吉单37	55.00	感病 S	中熟 Medium-maturity
Jinongyu 2988				Jidan 37			
稷稼1205	26.14	中抗 MR	中晚熟 Middle-late-maturity	华农816	47.50	感病 S	中熟 Medium-maturity
Jinong 1205				Huanong 816			
农大778	22.86	中抗 MR	中晚熟 Middle-late-maturity	吉农玉1669	41.27	感病 S	中晚熟 Middle-late-maturity
Nongda 778				Jinongyu 1669			
普达010	20.00	抗病 R	中晚熟 Middle-late-maturity	雷奥759	44.00	感病 S	中晚熟 Middle-late-maturity
Puda 010				Lei'ao 759			
翔玉211	38.64	中抗 MR	中晚熟 Middle-late-maturity	松玉969	40.00	中抗 MR	中晚熟 Middle-late-maturity
Xiangyu 211				Songyu 969			
吉单616	21.43	中抗 MR	中晚熟 Middle-late-maturity	长单551	58.75	感病 S	中晚熟 Middle-late-maturity
Jidan 616				Changdan 551			
R1852	34.67	中抗 MR	中晚熟 Middle-late-maturity	远科105	47.95	感病 S	中晚熟 Middle-late-maturity
				Yuanke 105			
先玉1826	26.92	中抗 MR	中晚熟 Middle-late-maturity	金庆1号	52.38	感病 S	中晚熟 Middle-late-maturity
Xianyu 1826				Jinqing 1			
吉海玉608	40.00	中抗 MR	中熟 Medium-maturity				
Jihaiyu 608							

HR: Highly resistant; R: resistant; MR: moderately resistant; S: susceptible; HS: highly susceptible.

2.2 氮、磷、钾肥对根腐病发生及玉米生长性状的影响

对玉米感染禾谷镰孢根腐病的调查结果显示,施用磷钾肥的玉米发病率最低,为22.03%,比对照显著降低了26.77个百分点($P<0.05$);施用钾、氮磷、氮钾和氮磷钾肥料的玉米发病率较对照分别降低了18.61、19.71、15.07和11.38个百分点,但与对照均无显著差异;施用氮肥的玉米发病率最高,为58.58%,比对照增加了9.78个百分点,但与对照差异不显著(表2),表明氮肥对禾谷镰孢根腐病的发生无显著影响,磷钾肥可显著降低玉米禾谷镰孢根腐病的发生率。

施用氮钾肥和氮磷肥的玉米出苗率分别为89.33%和90.00%,均显著高于对照($P<0.05$),较对

照分别高出3.33个百分点和4.00个百分点;施用氮磷肥、氮钾肥和磷钾肥的玉米平均株高较对照显著增加($P<0.05$),分别增加了1.59、1.85和1.57 cm;而不同施肥处理的鲜重均无显著差异(表2),表明氮、磷、钾肥复配可以显著增加玉米的出苗率和株高,但对鲜重无显著影响。

2.3 根腐病发生对玉米苗势及产量的影响

在玉米苗期,依据根腐病发生程度和植株地上部分表型特征划分为一类、二类和三类苗,调查发现相较于一类苗,二类苗和三类苗的平均单穗重分别显著降低了93.33 g和194.33 g($P<0.05$),百粒重分别显著降低了6.28 g和12.68 g($P<0.05$);二类苗和三类苗的平均产量较一类苗分别下降了39.97%和

76.39%,三类苗的平均产量较二类苗显著降低了60.66%($P<0.05$);一类苗和二类苗的空秆率均为0,显著低于三类苗的空秆率25.33%($P<0.05$);二类苗和三类苗的鲜出籽率比一类苗分别低0.84%和1.00%,但三者之间无显著差异(表3),表明禾谷镰孢根腐病不仅影响苗势,而且影响果穗及籽粒的形成;二、三类苗是造成玉米总体产量下降或空秆的主要原因,苗势与产量呈明显正相关。

3 讨论

目前,关于玉米对苗枯病、穗腐病和茎腐病等病害的抗性鉴定报道较多,但对玉米根腐病的抗性鉴定报道较少,尤其未见关于抗禾谷镰孢根腐病玉米材料鉴定筛选的报道。本研究鉴定了东北地区主推的117个玉米品种对禾谷镰孢根腐病的抗性水平,筛选出中抗以上品种105个,感病品种12个,大部分品种表现为抗病,感病品种虽然占比较低,但发病率超过40.00%。田间观察发现感染根腐病玉米苗不耐干旱,如果苗期持续干旱,侧根不能及时长出,则

存在较大的产量损失风险。供试玉米品种中,不同熟期品种大多表现为抗病和中抗水平,但中早熟材料均表现为抗病以上水平,推测中早熟品种可能具有较强的耐病或抗病能力,今后可以扩大中早熟材料的鉴定数量以进一步明确其群体抗性水平。

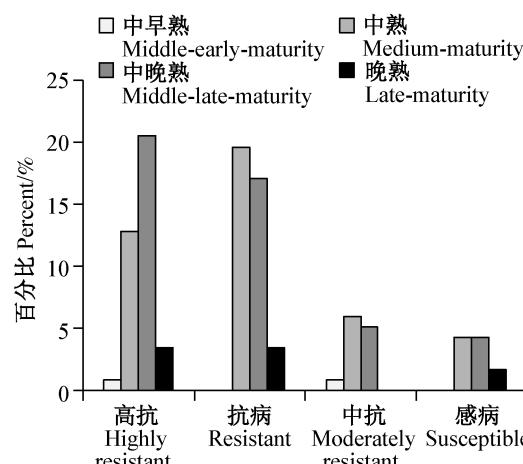


图1 不同熟期玉米品种对禾谷镰孢根腐病的抗性分析

Fig. 1 Analysis of resistance to *Fusarium graminearum* root rot of maize varieties with different maturity stages

表2 不同施肥处理下玉米生长性状及禾谷镰孢根腐病发生率

Table 2 Growth characteristics and incidence of *Fusarium graminearum* root rot of maize under different fertilization treatments

处理 Treatment	出苗率 Emergence rate/%	发病率 Incidence/%	鲜重 Fresh weight/g	株高 Plant height/cm
氮肥 Nitrogen	84.67±5.03 ab	58.58±8.29 a	1.02±0.03 a	21.41±1.72 bc
磷肥 Phosphorus	88.00±5.29 ab	48.22±8.50 ab	1.03±0.12 a	22.11±1.33 abc
钾肥 Potassium	77.33±3.06 b	30.19±3.94 bc	0.95±0.14 a	21.61±1.34 bc
氮磷肥 Nitrogen+phosphorus	90.00±4.00 a	29.09±7.22 bc	0.99±0.08 a	22.71±0.87 ab
氮钾肥 Nitrogen+potassium	89.33±2.31 a	33.73±9.64 bc	0.98±0.04 a	22.97±0.93 a
磷钾肥 Phosphorus+potassium	85.33±3.06 ab	22.03±8.98 c	1.04±0.06 a	22.69±1.45 ab
氮磷钾肥 Nitrogen+phosphorus+potassium	80.67±6.43 ab	37.42±5.91 ab	0.89±0.05 a	21.80±1.09 abc
对照 CK	86.00±2.00 b	48.80±3.14 ab	0.97±0.09 a	21.12±0.92 c

表中数据为平均数±标准差。同列不同小写字母表示经LSD法检验差异显著($P<0.05$)。Data in the table are mean±SD. Different letters in the same column indicate significant difference by LSD test ($P<0.05$).

表3 禾谷镰孢根腐病发生程度对玉米产量及其构成因素的影响

Table 3 Effect of the occurrence degree of *Fusarium graminearum* root rot on maize yield and its components

苗情等级 Growth level of seedling	平均单穗重 Average spike weight/g	籽粒含水量 Water content/%	百粒重 100-grain weight/g	空秆率 Void ratio/%	鲜出籽率 Fresh seed yield/%	平均产量 Average yield/ ($\times 10^3$ kg/hm 2)	产量损失率 Yield loss/%
一类苗 Grade I	235.00±33.42 a	16.73±0.98 a	33.42±2.24 a	0.00±0.00 b	88.27±0.32 a	12.07±1.69 a	—
二类苗 Grade II	141.67±15.04 b	15.89±0.50 b	26.60±0.53 b	0.00±0.00 b	87.43±1.27 a	7.25±0.64 b	39.97±4.34 b
三类苗 Grade III	40.67±9.87 c	14.91±0.39 c	20.74±2.58 c	25.33±8.32 a	87.27±0.95 a	2.85±0.36 c	76.39±2.45 a

产量损失率按照含水量14%折算。表中数据为平均数±标准差。同列不同小写字母表示经LSD法检验差异显著($P<0.05$)。The yield loss rate is calculated as standard water equivalent to 14 percent. Data in the table are mean±SD. Different letters in the same column indicate significant difference by LSD test ($P<0.05$).

磷素在植物体内参与光合作用和呼吸作用,促进早期根系的形成和生长,提高植物适应外界环境条件的能力。钾肥不仅能提高植物抵抗生物或非生物胁迫的能力(Pettigrew, 2008),而且可以提高植物对氮肥的吸收利用,并能很快地转化成蛋白质,当钾肥和磷肥供应充足时,植株茎秆内的氮含量也增加(武际等, 2006)。本试验发现与不施肥对照相比,施用氮肥后玉米的禾谷镰孢根腐病发生率与对照差异不显著,但施用钾肥后玉米的发病率降低,施用磷钾肥后玉米的发病率较其他处理均显著降低,表明施用磷钾肥比单施钾肥更能提高植物的抗逆性,降低玉米禾谷镰孢根腐病的发生程度,但施用磷钾肥降低该病害发生的机理有待进一步研究。

根腐病发生导致玉米根部变色、腐烂,发生较轻时,植株长势缓慢,株高变矮,苗势减弱(刘树森等, 2022);轻者导致出现大量三类苗,重者根部直接坏死,甚至造成幼苗枯死(Okello et al., 2019)。宋淑云等(1997)研究发现苗期病害的发生程度影响玉米的出苗和健康状况,发病较轻的植株后期可自行恢复,但多数苗势降低,成为了三类苗,严重影响产量。本研究发现供试试品种先玉335的一类苗和二类苗的空秆率虽然均为0,但二类苗的产量比一类苗降低了39.97%;而三类苗的空秆率显著上升,高达25.33%,且产量比一类苗降低了76.39%,较发病较轻的二类苗降低了60.67%。由此可见,禾谷镰孢根腐病发生造成的苗势减弱对产量具有一定影响,而根腐病严重时导致空秆率明显升高,是影响玉米产量的重要因素之一。

参 考 文 献 (References)

- Amtmann A, Troufflard S, Armengaud P. 2008. The effect of potassium nutrition on pest and disease resistance in plants. *Physiologia Plantarum*, 133(4): 682–691
- Chang H, Li WX, Xu ZP, Wang LF, Wu ZT, Yang KZ, Ma JH, Zhou Q, Ren BC. 2022. Isolation and identification of *Fusarium* spp. from maize root rot in Gansu Province. *Journal of Maize Sciences*, 30(4): 184–190 (in Chinese) [常浩, 李文学, 徐志鹏, 汪亮芳, 吴之涛, 杨克泽, 马金慧, 周琦, 任宝仓. 2022. 甘肃省玉米根腐病致病镰孢菌分离与鉴定. 玉米科学, 30(4): 184–190]
- Chang X, Zhou SX, Ding Y, Lu X, Li LJ, Zhang GH, Tian ZL, Li CK. 2018. Maize seedling pest species and the occurrence trend analysis in Jilin Province. *Journal of Maize Sciences*, 26(1): 160–166 (in Chinese) [常雪, 周淑香, 丁岩, 鲁新, 李丽娟, 张国红, 田志来, 李长昆. 2018. 吉林省玉米苗期害虫种类及发生趋势分析. 玉米科学, 26(1): 160–166]
- Duan CX, Wang XM, Song FJ, Sun SL, Zhou DN, Zhu ZD. 2015a. Advances in research on maize resistance to ear rot. *Scientia Agricultura Sinica*, 48(11): 2152–2164 (in Chinese) [段灿星, 王晓鸣, 宋凤景, 孙素丽, 周丹妮, 朱振东. 2015a. 玉米抗穗腐病研究进展. 中国农业科学, 48(11): 2152–2164]
- Duan CX, Wang XM, Wu XF, Yang ZH, Song FJ, Zhao LP, Sun SL, Zhu ZD. 2015b. Analysis of maize accessions resistance to *Pythium* stalk rot and *Fusarium* ear rot. *Journal of Plant Genetic Resources*, 16(5): 947–954 (in Chinese) [段灿星, 王晓鸣, 武小菲, 杨知还, 宋凤景, 赵立萍, 孙素丽, 朱振东. 2015b. 玉米种质和新品种对腐霉茎腐病和镰孢穗腐病的抗性分析. 植物遗传资源学报, 16(5): 947–954]
- Duan CX, Zhu ZD, Wu XF, Yang ZH, Wang XM. 2012. Screening and evaluation of maize germplasm for resistance to five diseases and Asian corn borer. *Journal of Plant Genetic Resources*, 13(2): 169–174 (in Chinese) [段灿星, 朱振东, 武小菲, 杨知还, 王晓鸣. 2012. 玉米种质资源对六种重要病虫害的抗性鉴定与评价. 植物遗传资源学报, 13(2): 169–174]
- Guo N, Zhang L, Jin CL, Zhang HJ, Liu SS. 2022. Control effect of pyraclostrobin and its mixed combination on maize root rot. *China Plant Protection*, 42(4): 74–76, 112 (in Chinese) [郭宁, 张丽, 靳昌霖, 张海剑, 刘树森. 2022. 吡唑醚菌酯及其混配组合对玉米根腐病的防治效果. 中国植保导刊, 42(4): 74–76, 112]
- He WQ, Fu Y, Lu WL, Chang XL, Yang WY. 2017. A multiplex PCR detection technique for the pathogenic *Fusarium* species causing soybean root rot. *Journal of Plant Protection*, 44(4): 609–616 (in Chinese) [何宛芹, 付瑶, 鲁雯璐, 常小丽, 杨文钰. 2017. 大豆根腐病致病镰孢菌的多重PCR检测技术. 植物保护学报, 44(4): 609–616]
- Jia J, Zhang W, Meng LM, Li H, Jin QM, Su QF. 2019. Identification of *Fusarium* species causing maize root rot in Jilin Province and screening of fungicides. *Journal of Maize Sciences*, 27(5): 176–180 (in Chinese) [贾娇, 张伟, 孟玲敏, 李红, 晋齐鸣, 苏前富. 2019. 吉林省玉米根腐镰孢菌种类鉴定和防治药剂筛选. 玉米科学, 27(5): 176–180]
- Jin QM, Pian YB, Song SY, Li H, Sha HL, Zhang W. 2004. Study on the techniques of diagnosing and controlling corn seedling diseases. *Journal of Jilin Agricultural University*, 26(4): 355–359 (in Chinese) [晋齐鸣, 骈跃斌, 宋淑云, 李红, 沙洪林, 张伟. 2004. 玉米苗期病害诊断与防治技术研究. 吉林农业大学学报, 26(4): 355–359]
- Li XH, Yang SX. 2002. Interactions of fertilizer with soil water condition affect the growth of corn seedlings. *Journal of Shandong Agricultural University*, 33(3): 273–280 (in Chinese) [李絮花, 杨守祥. 2002. 玉米苗期肥水耦合效应研究. 山东农业大学学报(自然科学版), 33(3): 273–280]
- Liu SS, Sun H, Shi J, Guo N, Ma HX, Zhang HJ. 2022. Grading criterion of maize root rot based on aboveground symptoms and the relationship between severity and agronomic traits. *Scientia Agricultura Sinica*, 55(20): 3939–3947 (in Chinese) [刘树森, 孙华, 石洁, 郭宁, 马红霞, 张海剑. 2022. 基于地上部症状的玉米根腐病分级及严重度与农艺性状的关系. 中国农业科学, 55(20): 3939–3947]

- Liu SX, Liu S. 2022. Analysis on changes in corn production layout in the three plains of China: policies change perspective. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 43(8): 224–229 (in Chinese) [刘绍熹, 刘帅. 2022. 我国三大平原玉米生产布局变迁分析: 基于政策变化视角. *中国农机化学报*, 43(8): 224–229]
- Liu ZK, Jia J, Su QF, Meng LM, Jin QM. 2014. Identification of pathogen and pathogenicity of maize ear rot in Qiqihar City. *Journal of Jilin Agricultural Sciences*, 39(6): 28–30 (in Chinese) [刘振库, 贾娇, 苏前富, 孟玲敏, 晋齐鸣. 2014. 齐齐哈尔玉米穗腐病病原菌的鉴定和致病性测定. *吉林农业科学*, 39(6): 28–30]
- Okello PN, Petrović K, Kontz B, Mathew FM. 2019. Eight species of *Fusarium* cause root rot of corn (*Zea mays*) in South Dakota. *Plant Health Progress*, 20(1): 38–43
- Pettigrew WT. 2008. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. *Physiologia Plantarum*, 133(4): 670–681
- Scholte K. 1987. Relationship between cropping frequency, root rot and yield of silage maize on sandy soils. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 35(4): 473–486
- Shen CM. 2012. Geographic distribution of trichocomaceae chemotypes and pathogenicity, biocontrol of the *Fusarium graminearum* species complex in major winter wheat production areas of China. Master thesis. Nanjing: Nanjing Agricultural University (in Chinese) [申成美. 2012. 我国冬小麦主产区禾谷镰孢菌的组成、分布、致病力及生物防治研究. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学]
- Song SY, Jin QM, Sun XH. 1997. Overview of maize seedling diseases. *Journal of Jilin Agricultural Sciences*, 22(4): 53–57 (in Chinese) [宋淑云, 晋齐鸣, 孙秀华. 1997. 玉米苗期病害概述. *吉林农业科学*, 22(4): 53–57]
- Tian YD. 1994. Effects of organic manure constituent with N, P fertilizer on growth and root rot disease of pea. *Scientia Agricultura Sinica*, 27(3): 56–62 (in Chinese) [田蕴德. 1994. 有机肥与氮磷化肥配施对豌豆长势及根腐病的影响. *中国农业科学*, 27(3): 56–62]
- Tripathi R, Tewari R, Singh KP, Keswani C, Minkina T, Srivastava AK, De Corato U, Sansinenea E. 2022. Plant mineral nutrition and disease resistance: a significant linkage for sustainable crop protection. *Frontiers in Plant Science*, 13: 883970
- Wang LJ, Xu XD, Jiang Y, Dong HY, Liu KJ. 2011. Identification of the *Fusarium* isolates of rDNA ITS in maize seedling blight in northeast of China. *Journal of Maize Sciences*, 19(4): 131–133, 137 (in Chinese) [王丽娟, 徐秀德, 姜钰, 董怀玉, 刘可杰. 2011. 东北玉米苗枯病病原菌rDNA ITS鉴定. *玉米科学*, 19(4): 131–133, 137]
- Wang ZY, Wang XM. 2019. Current status and management strategies for corn pests and diseases in China. *Plant Protection*, 45(1): 1–11 (in Chinese) [王振营, 王晓鸣. 2019. 我国玉米病虫害发生现状、趋势与防控对策. *植物保护*, 45(1): 1–11]
- Wu J, Guo XS, Wang WJ, Zhu HB, Li XY. 2006. Effect of combined application of P and K on yield and nutrient uptake of maize. *Journal of Maize Sciences*, 14(3): 147–150 (in Chinese) [武际, 郭熙盛, 王文军, 朱宏斌, 李孝勇. 2006. 磷钾肥配合施用对玉米产量及养分吸收的影响. *玉米科学*, 14(3): 147–150]
- Xia PG, Guo HB, Zhao HG, Jiao J, Deyholos MK, Yan XJ, Liu Y, Liang ZS. 2016. Optimal fertilizer application for *Panax notoginseng* and effect of soil water on root rot disease and saponin contents. *Journal of Ginseng Research*, 40(1): 38–46
- Xiao SQ, Xu JN, Yan LB, Sui YH, Xue CS, Chen J. 2017. Identification and distribution of *Fusarium* species causing maize ear rot in Liaoning Province. *Journal of Plant Protection*, 44(5): 803–808 (in Chinese) [肖淑芹, 许佳宁, 闫丽斌, 隋韵涵, 薛春生, 陈捷. 2017. 辽宁省玉米镰孢穗腐病病原菌的鉴定与分布. *植物保护学报*, 44(5): 803–808]
- Xu J, Dong HY, Wang LJ, Liu KJ, Wang DW. 2023. Identification and mycotoxin detection of the pathogen causing sheath rot in northern maize producing areas of China. *Journal of Plant Protection*, 50(4): 1105–1106 (in Chinese) [徐婧, 董怀玉, 王丽娟, 刘可杰, 王大为. 2023. 北方玉米产区玉米鞘腐病菌鉴定及其所产毒素测定. *植物保护学报*, 50(4): 1105–1106]
- Zhang Y, He J, Jia LJ, Yuan TL, Zhang D, Guo Y, Wang YF, Tang WH. 2016. Cellular tracking and gene profiling of *Fusarium graminearum* during maize stalk rot disease development elucidates its strategies in confronting phosphorus limitation in the host apoplast. *PLoS Pathogens*, 12(3): e1005485
- Zhu SS, Huang HC, Liu YX, Li CY, He XH, Zhu YY. 2022. Research advances in agrobiodiversity for crop disease management. *Journal of Plant Protection*, 49(1): 42–57 (in Chinese) [朱书生, 黄惠川, 刘屹湘, 李成云, 何霞红, 朱有勇. 2022. 农业生物多样性防控作物病害的研究进展. *植物保护学报*, 49(1): 42–57]

(责任编辑:李美娟)